

## **Verfahren und integrierter Schaltkreis zur Erhöhung der Störfestigkeit**

Die Erfindung bezieht sich auf integrierte Schaltkreise, insbesondere in elektronischen Steuergeräten, die bevorzugt Bestandteile von Kraftfahrzeugsteuergeräten sind. Insbesondere handelt es sich bei den Steuergeräten um Steuergeräte für Kraftfahrzeugbremsysteme. Solche Steuergeräte sind unter anderem zur Durchführung von sicherheitskritischen Regelungen geeignet. Die Kraftfahrzeugsteuergeräte beinhalten bevorzugt Regelungsprogramme, wie ABS, ASR, ESP und dergleichen. Auf Grund des hohen Sicherheitsbedarfs umfassen die Regelungssysteme, welche durch die integrierten Schaltkreise gebildet sind, Sicherheitsschaltkreise, welche einen Ausfall oder einen Fehler erkennen helfen und geeignete Maßnahmen, wie Abschaltung des gesamten Systems oder einen Notbetrieb durch teilweise den Betrieb des gesteuerten Systems erhaltende Maßnahmen einleiten.

Regelungssysteme mit integrierten Schaltkreisen, die Mikroprozessoren enthalten, sind für die vorstehend geschilderten Aufgaben allgemein üblich. Um Fehlfunktionen vorzubeugen bzw. diese zu erkennen ist es sinnvoll, mindestens zwei Prozessorkerne vorzusehen. Drei oder mehrere Prozessorkerne würden zwar die Sicherheit weiter erhöhen, jedoch ist dies aus Kostengründen in Verbindung mit den sehr hohen im Bereich der Kfz-Technik üblichen Stückzahlen nicht immer erwünscht. Es besteht daher der Bedarf an kostengünstigen Schaltkreisen mit hohem Sicherheitsniveau.

Außerordentlich bewährt hat sich zum Beispiel ein Konzept eines Regelungssystems, welches aus zwei integrierten Schaltkreisen besteht, die in separaten Chipgehäusen untergebracht sind. Hierdurch ergibt sich der Vorteil einer räumlichen Trennung von Leistungsbauelementen (PowerFETs etc.)

und hochintegrierten Mikroprozessorbauelementen ( $\mu$ C, Speicher usw.).

Die fehlerrelevante Kommunikation erfolgt im obigen Beispiel bevorzugt über zwei Fehlerleitungen ERR und ERR\_N.

Die Erfindung geht von einem obigen System aus und verbessert dieses, um die Störfestigkeit weiter zu verbessern.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren gemäß den Ansprüchen 1 und 2 sowie einen integrierten Schaltkreis gemäß Anspruch 15.

Das Regelungssystem kann außerdem einen oder mehrere Überwachungsschaltkreise besitzen, die insbesondere auf einem oder mehreren weiteren separaten Chips untergebracht sind (Watchdog).

Im bekannten elektronischen Regler sind Prozessorchip und Leistungschip bevorzugt über die Leitungen ERR und ERR\_N verbunden. Dabei muss der Leistungschip in der Lage sein, Pulse vom Prozessorchip, die auf ERR bzw. ERR\_N übertragen werden, mit einer minimalen Pulsbreite von beispielsweise  $T_{\min} = 30 \text{ ns}$  zu erkennen. Es ist möglich, dass externe elektrostatische, magnetische oder elektromagnetische Störungen (z. B. statische Aufladungen, ESD) in das System eingreifen und unerwünschte Auswirkungen haben.

Erfindungsgemäß werden Verfahren sowie integrierte Schaltkreise gemäß den unabhängigen Patentansprüchen beschrieben, um die Störfestigkeit, insbesondere die Störfestigkeit der Signale ERR und ERR\_N, zu erhöhen. Dies führt zur einer erhöhten Systemverfügbarkeit.

Nach einem Grundgedanken der Erfindung werden insbesondere folgende Maßnahmen, einzeln oder in beliebiger Kombination, durchgeführt:

- Deutliche Verlängerung der minimalen Pulsbreite  $T_{Min}$
- Filterung der Signale ERR und ERR\_N in dem Leistungschip
- Neudefinition des Watchdog Zeitfensters in dem Leistungschip mit der Einführung der Verzögerungszeit  $T_{Window-Delay}$
- Einführung des Blocks „Toggle und Delay„ in der Prozessorchip um die minimale Pulsbreite  $T_{Min}$  zu garantieren.

Hierdurch ergeben sich folgende Vorteile:

- Durch die Filterung der Leistungschip-Eingangssignale ERR und ERR\_N wird die Störfestigkeit des Systems deutlich verbessert. Besonders der Einfluss von elektrostatischen, magnetischen oder elektromagnetischen Störungen wird erheblich verringert, da diese in der Regel von kurzer Dauer sind und wegen der neuen, größeren Mindestimpulslänge daher nicht irrtümlich als Fehler-signale interpretiert werden können.
- Durch das erfindungsgemäße Verfahren wird erreicht, dass es zu keiner Einschränkung der Fehlerüberwachung des Prozessorchips durch den Leistungschip gegenüber der bisherigen, ungefilterten Lösung, kommt. Das heißt, es gehen keine Fehlerimpulse verloren.

Der integrierte Schaltkreis umfasst mindestens einen Mikroprozessorchip oder Mehrfachprozessor-Microcontroller und mindestens einen weiteren Baustein, der insbesondere ein

integrierter Baustein ist. Der integrierte Baustein umfasst vorzugsweise Leistungsbaulemente und ist daher insbesondere ein mixed-signal-Baustein.

Probleme ergeben sich auf Grund der im allgemeinen erheblich höheren Taktfrequenz der Mikroprozessorbausteine gegenüber den mixed-signal-Bausteinen. Hierdurch können aufeinanderfolgende Fehlerereignisse so dicht aufeinanderfolgend sein, dass diese nicht mehr ohne weiteres von sonstigen Störungen unterschieden werden können.

Alternativ kann die Erfindung auch insbesondere auf folgende Weise durchgeführt werden:

- Die digitale Filterung kann durch eine analoge Filterung ersetzt werden.
- Arbeitet der Microcontroller (Prozessorchip) viel langsamer als der Mixed Signal Chip (Leistungschip), dann kann ohne den „Toggle & Delay“-Block im Mikrocontroller eine digitale Filterung durchgeführt werden.

Weitere bevorzugte Ausführungsformen ergeben sich aus den Unteransprüchen und der nachfolgenden Beschreibung der Figuren.

Nachfolgend wird die Erfindung an Hand von Beispielen näher erläutert.

Es zeigen

Fig. 1      einen Systemüberblick der zusammengeschalteten Chips,

Fig. 2 eine Darstellung der Filtercharakteristik im Zusammenhang mit den Fehlerleitungen und

Fig. 3 ein Diagramm zur Darstellung des Zeitverhaltens der Signale (Timingdiagramm).

In Fig. 1 ist ein Systemüberblick gegeben:

Im elektronischen Regler eines Kraftfahrzeugbremsystems ist der Mikrocontroller 1 (Prozessorchip) mit dem Mixed-Signal-IC 2 (Leistungschip) über die Fehlerleitungen 3 und 4 sowie über das SPI-Interface 5 verbunden.

Der Mikrocontroller 1 besteht aus zwei unabhängigen Prozessorkernen (Core A und Core B), deren Operationen kontinuierlich durch die Vergleichsblöcke Compare A und Compare B hardwaremäßig überprüft werden. Wird bei dieser Vergleichsoperation ein Fehler erkannt, so muss diese Fehlerinformation über die Leitungen 3 ERR und 4 ERR\_N an Leistungschip 2 sicher übertragen werden.

Nach dem Verfahren wird ein Fehler bevorzugt dadurch signalisiert, dass der Pegel auf einer Fehlerleitung wechselt (z.B. von logisch "High" auf "Low").

Insbesondere ist vorgesehen, dass bei jedem Fehler jede der Leitungen 3 ERR und 4 ERR\_N einmal den Signalpegel wechselt. Die Pegel auf ERR und ERR\_N sind vorzugsweise gegenläufig oder komplementär.

Das Mixed Signal IC 2 arbeitet in der Regel und bevorzugt erheblich langsamer als der Mikrocontroller. Aus diesem Grund muss sichergestellt werden, dass die minimale Pulsbreite  $T_{min}$  auf den Signalleitungen ERR und ERR\_N nicht un-

terschritten wird. Sonst ist es möglich, dass Baustein 2 einen Fehler "übersieht".

Diese beiden Aufgaben werden von den Blöcken „Toggle & Delay“, 6 und 6' erfüllt. Liegen in dem Prozessorchip mehrere Fehler vor, so werden die Pegelwechsel auf ERR und ERR\_N verzögert ("Delay"), um die minimale Pulsbreite  $T_{\min}$  zu garantieren.

Das Mixed Signal IC filtert jeweils die ERR/ERR\_N Signale mit jeweils einer Filtereinrichtung 7, 7'. Diese Filterung erfolgt insbesondere digital. Dabei ist bevorzugt eine Filterzeitkonstante  $T_{\text{Filter}}$  vorgesehen. Die minimale Pulsbreite  $T_{\min}$  ist bevorzugt viel größer, als der interne Systemtakt des Leistungschips 2.

Durch die Filterung der Signale ERR/ERR\_N werden vorteilhafterweise äußere Störungen (elektrostatistische, magnetische oder elektromagnetische Störungen), unterdrückt und dadurch die Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit des Systems erhöht.

In den Blöcken „Level Compare“, 8, 8' wird redundant überprüft, ob beide Fehlersignale gegenläufige Pegel haben. Gleiche Pegel auf ERR und ERR\_N führen zu einem Fehler und werden außerhalb einer Prüfroutine auf den Signalen „Error Detected“, 9, 9' ausgegeben. Zusätzlich sucht der Block „Pulse Detect“, 10, 10' nach Flanken auf den gefilterten ERR/ERR\_N Signalen. Die Signalausgänge von Block "Level-Compare" 8 und "Puls-Detect" 10 sind durch einen ODER-Baustein logisch verknüpft und bilden den Ausgang "ERR Detected A" 9. Entsprechendes gilt für den redundanten Pfad 11'.

Im beispielgemäßen elektronischen Regler wird in regelmäßigen Abständen  $T_{Loop}$  eine Watchdog-Prüfroutine mit künstlicher Fehlerübertragung über die SPI-Schnittstelle 5 von Prozessorchip 1 zu Leistungschip 2 signalisiert. Während dieser Prüfroutine wird die Fehlererkennung im Mikrocontroller und die Verbindungen über die Error-Leitungen zwischen Leistungschip und Prozessorchip getestet. Im Mikrocontroller wird über per Software angesteuerte Teststrukturen ein Fehler erzeugt, was am Ausgang der Blöcke „Toggle und Delay„ zu einem einmaligen Pegelwechsel auf den ERR/ERRN- Leitungen führt.

Während die Prüfroutine ("Watchdogübertragung") aktiv ist, definiert Leistungschip 1 über Bus 5 ein Zeitfenster in Block 50. Innerhalb des Zeitfensters wird als gültiges Fehlersignal zum Testen insbesondere ein Signal angesehen, welches aus genau einem Flankenwechsel auf der gefilterten ERR und der ERR\_N-Leitung besteht. Ein Fehler wird durch den Block "Puls Detect" 10 (bzw. 10' im redundanten Zweig B) erkannt, wenn innerhalb des Zeitfensters keine oder mehr als eine Flanke auf den gefilterten Signalen ERR-Filter oder ERR\_N-Filter auftreten (siehe Timing Diagramm in Fig. 2). Die Pegelüberwachung 8 ist während der Watchdogübertragung mittels Leitung 18 (18' im redundanten Zweig B) ausgeschaltet, da der Pegelwechsel auf ERR und ERR\_N durch unterschiedliche Signallaufzeiten nicht absolut synchron erfolgen kann.

Am Ende des durch Block 50 definierten Zeitfensters müssen die Signale ERR/ERR\_N wieder gegenläufige Pegel besitzen, da nun die Pegelüberwachung der gefilterten Signale wieder einsetzt.

Kommt es außerhalb des Watchdog-Zeitfensters zu einem Pegelwechsel auf den gefilterten Signalen ERR oder ERR\_N, so wird dies durch den Block "Puls Detect" 10 direkt als Fehler erkannt und auf Leitung „Err Detected„ 9 ausgegeben. Um diese Funktionalität herbeizuführen, ist Block 50 mit Block 10 über eine Steuerleitung verbunden.

Block "Level-Compare" 8 ist ebenfalls redundant vorgesehen (siehe Block 8'). Durch Block 8 wird geprüft, ob die Fehler-signale der komplementären Fehlerleitungen beide vorhanden sind. Ist dies nicht der Fall, zum Beispiel wenn eine der Fehlerleitungen defekt ist, wird ein Fehler ausgegeben.

In Fig. 2 ist gezeigt, wie eine Implementierung der ERR-Filter 7 bzw. 7' erfolgen kann:

Wie in Fig. 1 zu erkennen, ist in Leistungschip 2 die Fehlererkennung für die Leitungen 3 ERR und 4 ERR\_N grundsätzlich redundant ausgelegt. Daher ist bevorzugt für jeden Rechnerkern eine eigene Fehlererkennungsschaltung 11 und 11' mit jeweils eigener Fehlerleitung 9 "ERR-Detected A" und 9' "Err-Detected B" vorgesehen. Bevorzugt ist zur Senkung der Herstellungskosten in Schaltung 11 der Filter 7 nur für eine der vorhandenen Fehlerleitungen 3 und 4 vorhanden. In Schaltung 11' ist ebenfalls lediglich eine Filterschaltung 7' vorhanden. In beiden Schaltungen 11 und 11' wird der Ausgang des Filters 7 bzw. 7' mit den Verbindungspunkten 12 und 12' über Kreuzleitungen 13 und 13' den Eingängen der "Level-Compare"-Schaltungen 8 und 8' neben den Fehlersignalen 3 und 4 eingangsseitig zugeführt. Hierzu wird also jeweils das Ergebnis der Filteroperation in den Block ERR-Check B 11' zurückgekoppelt. Umgekehrt gilt das gleiche für das ERR\_N Filter, dessen Ergebnis in den Block ERR-Check A 11 zurückgekoppelt wird. Die Rückkopplung wird jeweils für den Test auf invertierte Pegel verwendet.



ERR-Filter 7 ist bevorzugt als digitaler Vorwärts/Rückwärtszähler ausgeführt, der in Abhängigkeit vom Eingangssignals seinen Zählerstand ändert. Liegt am Eingang des Filters ein Signal mit dem digitalen Low-Pegel an, dann wird der Zählerstand um Eins vermindert. Liegt ein High-Pegel an, dann wird der Zählerstand um Eins erhöht. Die möglichen Zählerstände sind auf den Bereich von 0 bis  $Z_{\text{MaxCount}}$  begrenzt. In Fig. 2 ist ein möglicher Signalverlauf dargestellt. Entsprechendes gilt auch für den Filter 7'.

Erreicht der Zählerstand von Filter 7 den Wert Null, dann geht der Ausgang des Filters an Punkt 12 auf Low. Erreicht der Zählerstand den Wert  $Z_{\text{MaxCount}}$ , dann geht der Ausgang des Filters auf High. Zusammen mit der verwendeten Taktfrequenz  $f_{\text{Leistungschip}}$  ergibt sich eine Filterzeit von

$$T_{\text{Filter}} = \frac{Z_{\text{MaxCount}}}{f_{\text{PCU}}} \qquad T_{\text{PCU}} = \frac{1}{f_{\text{PCU}}},$$

wobei  $F_{\text{CPU}}$  die Taktfrequenz des Mikrorechners ist.

Mit dieser Implementierung werden alle Störungen, die kürzer sind als  $T_{\text{Filter}}$  und die durch die Abtastung erfasst werden, unterdrückt. Der Zählerstand des Filters ist in Fig. 2 in Abhängigkeit vom Eingang des Filters dargestellt.

Fig. 3 stellt ein Timing-Diagramm dar, welches die logischen Pegel der vorhandenen Steuerleitungen zeitabhängig darstellt. An Hand dieser Figur wird nun eine mögliche Definition eines Watchdog-Zeitfensters in Block 50 erläutert. Das Watchdog Zeitfenster in Block "Watchdog Window" 50 wird vom Prozessorchip 1 durch das SPI-Interface 5 bestimmt. Prozessorchip 1 wählt den Watchdogtransfer durch die Chipselect-signale  $\text{CSVO\_N} = \text{low}$  und  $\text{CSWD\_N} = \text{high}$  aus.

Das Watchdog-Zeitfenster 17 beginnt nach der ersten steigenden Flanke 14 auf dem Taktsignal der SPI-Übertrag SPICLK. Die Verzögerung  $T_{Sync}$  beinhaltet Signallaufzeiten sowie die Synchronisationszeit zwischen dem externen Takt des SPI-Interface und dem internen Leistungschip Systemtakt.

Das Watchdog-Zeitfenster 17 endet an sich nach der steigenden Flanke 15 von CSWD\_N. Es muss jedoch sichergestellt werden, dass die Flanken der gefilterten Signale ERR bzw. ERR\_N noch innerhalb des aktiven Watchdog-Zeitfensters erkannt werden. Aus diesem Grund schließt sich an den Zeitpunkt von Flanke 15 eine Verzögerungszeit  $T_{WindowDelay}$  an, in der noch die erwartete Flanke verarbeitet wird. Es gilt dabei die folgende Bedingung:

$$T_{WindowDelay} > T_{Filter}$$

Diese Bedingung erfüllt die Anforderungen jedoch nur in einem störungsfreien System. Berücksichtigt man jedoch den Effekt, dass Störungen auf dem Eingangssignal eine zusätzliche Verzögerung hervorrufen, dann erhält man das robusteste und aufwandsgünstigste System wenn

$$T_{WindowDelay} \approx 2 \cdot T_{Filter},$$

da im gestörten System die vorgestellte Filterverzögerung nie größer werden kann, als die zweifache Filterzeit.

Dabei sind folgende Anforderung an die Signalverzögerung innerhalb des Prozessorchips 1 zu stellen:

Außerhalb der Zeit, während die Fehlerprüfroutine läuft (Watchdogtransfer), führt ein einmaliges Fehlerereignis in-

nerhalb des Prozessorchips 1 immer zu einer Fehlererkennung innerhalb des Leistungschips 2. In diesem Fall muss Prozessorchip 1 lediglich garantieren, dass die minimale Pulslänge  $T_{Min}$  auf den Signalen ERR bzw. ERR\_N nicht unterschritten wird.

Während einer Fehlerprüfroutine (Watchdogtransfer), in der über Bus 5 ein Zeitfenster definiert wird, muss garantiert werden, dass neben dem Fehler, der durch die Testprozedur hervorgerufen wird, auch jeder zusätzliche Fehler sicher von Leistungschip 2 erkannt wird. In diesem Fall muss Prozessorchip 1 die Pegel auf den Fehlerleitungen ERR/ERR\_N für den ersten auftretenden Fehler einmal ändern. Tritt während der Zeit  $T_{Min}$  ein weiterer Fehler in Prozessorchip 1 auf, dann muss dieser Fehler bis zum Ablauf der Zeit  $T_{Min}$  verzögert werden. Dann muss Prozessorchip 1 erneut die Signalpegel auf ERR/ERR\_N ändern. Dies erfolgt durch die Einrichtung 6 bzw. 6' ("Toggle und Delay"). In diesem Fall wird in Leistungschip 2 entweder der zweifache Pegelwechsel während des Watchdogzeitfensters 17 erkannt, oder ein Pegelwechsel befindet sich außerhalb des Zeitfensters 17. In beiden Fällen erkennt Leistungschip 2 den zusätzlichen Fehler.

Ein zweimaliger Pegelwechsel im Abstand von  $T_{Min}$  reicht damit in allen Fällen aus, um einen Fehler in der Leistungschip zu erkennen. Der Block „Toggle & Delay“, 6 bzw. 6' muss damit neben dem ersten auftretenden Fehler nur einen weiteren Fehler um  $T_{Min}$  verzögert an die Leistungschip übertragen.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Verbesserung der Störfestigkeit eines integrierten Schaltkreises (16), bei dem Fehlersignale zwischen mindestens einem Mikroprozessorchip oder Mehrfachprozessor- $\mu$ C (1) und mindestens einem weiteren Baustein (2) in Form von einem oder mehreren Fehlersignalen übertragen werden, dadurch **gekennzeichnet**, dass für die Übertragung eine von der Taktfrequenz des Mikroprozessors oder der Mikroprozessoren unabhängige Mindestimpulslänge definiert wird, ab der ein Signal auf einer Fehlerleitung mit einer bestimmten Impulslänge als ein Fehler interpretiert wird.
2. Verfahren zur Verbesserung der Störfestigkeit eines integrierten Schaltkreises (16), bei dem Fehlersignale zwischen mindestens einem Mikroprozessormodul oder Mehrfachprozessor-Modul und mindestens einem weiteren Gemischtsignal-Modul in Form von einem oder mehreren Fehlersignalen übertragen werden, wobei die besagten Module auf einem Chip oder in einem Chip-Gehäuse integriert sind, dadurch **gekennzeichnet**, dass für die Übertragung eine von der Taktfrequenz des Mikroprozessors oder der Mikroprozessoren unabhängige Mindestimpulslänge definiert wird, ab der ein Signal auf einer Fehlerleitung mit einer bestimmten Impulslänge als ein Fehler interpretiert wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch **gekennzeichnet**, dass im Falle einer Fehlerfolge mit einem Fehlerabstand, der kleiner als die Mindestimpulslänge ist, die Zeit der über die mindestens eine Fehlerleitung ausgegebenen Fehlerfolge gegenüber der tatsächlichen Fehlerfolgezeit zeitlich gedehnt wird.

4. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch **gekennzeichnet**, dass das/die Fehlersignal/e in einem Chip, welcher das/die Fehlersignal/e eines anderen Chips oder Bausteins empfängt, genau dann nicht verarbeitet werden, wenn die Signale eine Mindestdauer unterschreiten und genau dann verarbeitet werden, wenn die Mindestdauer erreicht, oder überschritten wird, wobei hierzu die Signale insbesondere durch zumindest ein Filter, insbesondere ein Tiefpaßfilter (7, 7'), geleitet werden.
5. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch **gekennzeichnet**, dass mindestens ein Watchdog-Zeitfenster (17) im integrierten Schaltkreis oder im weiteren Baustein (2) vorgegeben wird, innerhalb dem mindestens ein künstlich erzeugtes Fehlersignal oder Fehlersignalmuster erzeugt und überprüft wird, so dass die Fehlererkennungsschaltkreise selbst überprüfbar werden.
6. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch **gekennzeichnet**, dass das Watchdog-Zeitfenster (17) eine Verzögerungszeit  $T_{\text{WindowDelay}}$  hat, wobei bis zum Ablauf der Verzögerungszeit  $T_{\text{WindowDelay}}$  das Zeitfenster, in dem mindestens ein Fehlersignal oder Fehlersignalmuster erwartet wird, weiter geöffnet bleibt.
7. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch **gekennzeichnet**, dass die Verzögerungszeit  $T_{\text{WindowDelay}}$  größer ist als die Filterzeit  $T_{\text{Filter}}$  des oder der Filter (7, 7'), welche/s das oder die Fehlersignale der mindestens einen Fehlerleitung (3, 3') verarbeitet.

8. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch **gekennzeichnet**, dass innerhalb des fehlersignalsendenden Chips (1) die Fehlersignale verbreitert werden und/oder verzögert nacheinander über die Fehlerleitung/-en ausgegeben werden.
9. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch **gekennzeichnet**, dass mit Hilfe der Schnittstelle (5) ein Test der mindestens einen Fehlerleitung (3,4) durchgeführt wird.
10. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch **gekennzeichnet**, dass die Fehlersignale durch Filter (7,7') mit einer bestimmten Filterzeit  $T_{\text{Filter}}$  gefiltert werden.
11. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch **gekennzeichnet**, dass das Zeitfenster  $T_{\text{WindowDelay}}$  im weiteren Baustein (2) über die mit Chip (1) verbundenen Schnittstelle (5) festgelegt wird.
12. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch **gekennzeichnet**, dass die Bedingung  $T_{\text{WindowDelay}}$  größer als Filterzeit  $T_{\text{Filter}}$  erfüllt ist.
13. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch **gekennzeichnet**, dass die Verzögerung  $T_{\text{WindowDelay}}$  in etwa der zweifachen Zeit  $T_{\text{Filter}}$  entspricht.
14. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch **gekennzeichnet**, dass die Pulsbreite  $T_{\text{Min}}$  auf einen Wert von mindestens etwa 30 ns festgelegt

wird.

15. Integrierter Schaltkreis, insbesondere derart, dass das obige Verfahren ausgeführt wird, umfassend
  - mindestens einen Mikroprozessorchip oder Mehrfachprozessor-Microcontroller (1) oder Mikroprozessormodul und mindestens einen weiteren separaten Baustein (2) oder ein im gleichen Baustein integriertes Gemischtsignalmodul, der/welches insbesondere separat angeordnete Leistungsbaulemente umfasst, und
  - einen oder mehrere Impulsverbreiterungseinrichtungen und/oder Signalverzögerungseinrichtungen zum Nacheinanderausgeben von Fehlerimpulsen (6, 6') über mindestens eine Fehlerleitung (3,4)
16. Integrierter Schaltkreis nach Anspruch 15, **gekennzeichnet** durch
  - einen oder mehrere Filter (7,7') zur Filterung der durch die Fehlerleitungen (3,4) übertragenen Fehlersignale.
17. Integrierter Schaltkreis, insbesondere derart, dass das Verfahren gemäß einem Ansprüche 1 bis 14 ausgeführt wird, umfassend
  - mindestens einen Mikroprozessorchip oder Mehrfachprozessor-Microcontroller (1) und mindestens einen weiteren Baustein (2), der insbesondere separat angeordnete Leistungsbaulemente umfasst und
  - einen oder mehrere Filter (7,7') zur Filterung von Fehlerimpulsen (6, 6') über mindestens eine Fehlerleitung (3,4).
18. Integrierter Schaltkreis nach mindestens einem der vorherigen Schaltkreisansprüche, dadurch **gekennzeichnet**, dass das Filter (7,7') als digitaler Vorwärts/Rück-

wärtszähler ausgeführt ist.

19. Integrierter Schaltkreis nach mindestens einem der vorherigen Schaltkreisansprüche, dadurch **gekennzeichnet**, dass die Chips oder Bausteine mittels mindestens einem Bus (5) und mindestens einer Fehlerleitung (3,4) verbunden sind.
20. Integrierter Schaltkreis nach mindestens einem der vorherigen Schaltkreisansprüche, dadurch **gekennzeichnet**, dass dieser hardwaremäßige Teststrukturen umfasst, mit deren Hilfe über eine Schnittstelle (5) ein Test der mindestens einer Fehlerleitung (3,4) durchgeführt werden kann.
21. Integrierter Schaltkreis nach mindestens einem der vorherigen Schaltkreisansprüche, dadurch **gekennzeichnet**, dass der Mikroprozessorchip (1) oder der weitere Baustein zumindest einen Watchdog-Window-Schaltkreis (50) umfasst.
22. Integrierter Schaltkreis nach Anspruch 21, dadurch **gekennzeichnet**, dass der Watchdog-Window-Schaltkreis (50) ein Watchdog-Zeitfenster (17) vorgibt und das Watchdog-Zeitfenster (17) eine Verzögerungszeit  $T_{\text{WindowDelay}}$  hat, wobei bis zum Ablauf der Verzögerungszeit  $T_{\text{WindowDelay}}$  das Zeitfenster, in dem mindestens ein Fehlersignal oder Fehlersignalmuster erwartet wird, weiter geöffnet bleibt.
23. Integrierter Schaltkreis, insbesondere derart, dass das Verfahren gemäß einem Ansprüche 1 bis 14 ausgeführt wird, umfassend
  - mindestens einen Mikroprozessorchip oder Mehrfachpro-



zessor-Microcontroller (1) und mindestens einen weiteren Baustein (2), der insbesondere separat angeordnete Leistungsbaulemente umfasst und

- zumindest einen Watchdog-Window-Schaltkreis (50), der ein Watchdog-Zeitfenster (17) vorgibt und das Watchdog-Zeitfenster (17) eine Verzögerungszeit  $T_{\text{WindowDelay}}$  hat, wobei bis zum Ablauf der Verzögerungszeit  $T_{\text{WindowDelay}}$  das Zeitfenster, in dem mindestens ein Fehlersignal oder Fehlersignalmuster erwartet wird, weiter geöffnet bleibt.

24. Integrierter Schaltkreis nach mindestens einem der vorherigen Schaltkreisansprüche, dadurch **gekennzeichnet**, dass die Verzögerungszeit  $T_{\text{WindowDelay}}$  größer ist als die Filterzeit  $T_{\text{Filter}}$  des oder der Filter (7, 7'), welche/s das oder die Fehlersignale der mindestens einen Fehlerleitung (3, 3') verarbeitet.

## **Zusammenfassung**

### **Verfahren und integrierter Schaltkreis zur Erhöhung der Störfestigkeit**

Beschrieben ist ein Verfahren zur Verbesserung der Störfestigkeit eines integrierten Schaltkreises (16), bei dem Fehlersignale zwischen mindestens einem Mikroprozessorchip oder Mehrfachprozessor- $\mu$ C (1) und mindestens einem weiteren Baustein (2) in Form von einem oder mehreren Fehlersignalen übertragen werden, bei dem für die Übertragung eine von der Taktfrequenz des Mikroprozessors oder der Mikroprozessoren unabhängige Mindestimpulslänge definiert wird, ab der ein Signal auf einer Fehlerleitung mit einer bestimmten Impulslänge als ein Fehler interpretiert wird.

Die Erfindung betrifft auch einen integrierten Schaltkreis, der insbesondere derart ausgeführt ist, dass das obige Verfahren ausgeführt wird, umfassend

- mindestens einen Mikroprozessorchip oder Mehrfachprozessor-Microcontroller (1) und mindestens einen weiteren Baustein (2), der insbesondere separat angeordnete Leistungsbaulemente umfasst, und
- einen oder mehrere Impulsverbreiterungseinrichtungen und/oder Signalverzögerungseinrichtungen zum Nacheinander- ausgeben von Fehlerimpulsen (6, 6') über mindestens eine Fehlerleitung (3,4)

(Fig. 1)